УДК 541.183.12

Деионизация никельсодержащих растворов гальванического производства

А.П. Вергун, Г.С. Тихонов, Л.И. Дорофеева

Томский политехнический университет
E-mail: chair23@phtd.tpu.edu.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований по извлечению ионов никеля из растворов никелирования гальванического производства методом электродиализа в смешанном слое ионита. Проведённые исследования показывают эффективное удержание ионов никеля в ионообменной насадке.

Очистка сточных вод промышленных предприятий актуальна в связи с постоянно увеличивающимся загрязнением окружающей среды. Одним из наиболее серьёзных источников загрязнения являются производства различных предприятий, в сбросных водах которых содержатся порядка 13 вредных веществ, в основном тяжёлые металлы.

Для очистки сточных вод гальванических производств используют различные методы или их сочетания: реагентный, сорбционный (физико-химический), физический, электрохимический.

Для более глубокой очистки сбросных растворов перспективны электрохимические методы [1], позволяющие снизить концентрацию ионов металлов в выходных растворах до 0,1…0,2 мг/л. Хорошие результаты показали также исследования по использованию электродиализаторов с межмембранным ионитовым заполнением для очистки сбросных растворов [2–5].

В работе рассмотрено извлечение ионов никеля из растворов никелирования гальванического производства Томского электролампового завода методом электродиализа при заполнении средней камеры трёхкамерного электродиализатора смешанным слоем ионитов КУ-2×8 и АВ-17. В данном случае использовался электродиализатор, принципиальная схема которого приведена на рисунке, с размерами катионитовой (МК-40) и анионитовой мембран (МА-40) 15,5 × 31 см и межмембранным расстоянием 0,9 см. Средняя камера заполнялась смесью набухших ионитов: катионита КУ-2×8 в H^+- форме и анионита АВ-17 в OH^-- форме, в соотношении 1 : 1,4 по весу, соответственно.

Исследования проводились при прикладываемых напряжениях 40…100 В. Предварительно оценивалось время движения ионов никеля под действием постоянного электрического поля:

$$t_и = \frac{d_k}{V_и} = \frac{d_k \cdot F}{\vartheta_и \cdot E} = \frac{d_k \cdot L_{AK} \cdot F}{\vartheta_и \cdot U},$$

где d_k – межмембранное расстояние в средней камере; $V_и$ – скорость движения ионов; F – число Фарадея; E – напряженность постоянного электрического поля; $\vartheta_и$ – подвижность иона; U – прикладываемое напряжение; L_{AK} – межэлектродное расстояние.

Время прохождения ионов никеля в вертикальном направлении с потоком раствора:

$$t_и = \frac{H_k}{V_p},$$

где H_k – высота рабочего пространства средней камеры; V_p – линейная скорость движения раствора.

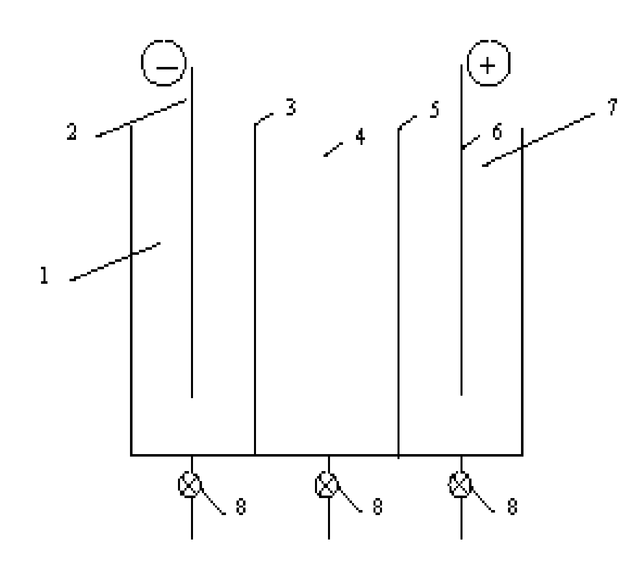


Рисунок. Схема электродиализатора: 1) катодная камера; 2) катод; 3) катионитовая мембрана; 4) средняя (рабочая) камера, заполненная смешанным слоем ионитов; 5) анионитовая мембрана; 6) анод; 7) анодная камера; 8) вентиль

Для нормальных условий переноса ионов должно соблюдаться равенство:

$$t_и = t_р,$$

когда время переноса ионов в горизонтальном направлении $t_и$ равно времени переноса в вертикальном направлении $t_р$.

Тогда необходимый объёмный расход раствора через среднюю камеру:

$$Q_p = \omega_k \cdot d_k \cdot V_p \cdot f = \frac{\omega_и \cdot H_k \cdot \vartheta \cdot U \cdot f}{L_{AK} \cdot F},$$

где ω_k – ширина средней камеры; f – коэффициент пористости, $f = 0,4$.

Затем, с учётом указанных оценок и исходных концентраций никеля выбирались рабочие расходы растворов через среднюю камеру, которые составляли 1…8 л/ч. Результаты исследований представлены в таблицах 1, 2 (расход раствора 1,2 л/ч).

Время работы, t, мин.	U, В			
	60		100	
	I, A	ρ, кОм·см	I, A	ρ, кОм·см
0	0,40	0,96	0,8	0,96
30	0,36	6,55	1,0	18,00
60	0,38	12,60	1,1	27,00
90	0,42	18,00	1,1	30,00

Камера электродиализатора	U, В			
	60		100	
	C_{Ni}, мг/л	ρ, кОм·см	C_{Ni}, мг/л	ρ, кОм·см
Анодная	0,0025	0,162	0,0975	0,080
Катодная	0,8730	0,304	1,1500	0,430
Средняя	не обнаружено	18,000	не обнаружено	30,000

Концентрация ионов никеля в растворах определялась в заводской лаборатории фотоколориметрическим методом.

Выводы

Проведённые исследования показали, что при электродиализе в смешанном слое ионитов происходит эффективное удержание ионов никеля в ионообменной насадке с последующим перемещением их в катодную камеру электродиализатора, поскольку поглощаемые катионитом ионы металла перемещаются по зёрнам ионита под действием постоянного электрического поля. Одновременно с этим происходит перенос тех же ионов по свободному пространству между зёрнами ионита из раствора, проходящего через это пространство в процессе перемещения через слой ионообменной насадки.

Рассмотренный метод деионизации при электродиализе с межмембранной засыпкой камер ионитами не требует затрат на регенерацию, отличается сравнительной простотой аппаратурного оформления и даёт возможность использовать его для решения вопросов деионизации никельсодержащих растворов гальванического производства, а также и других проблем, связанных с очисткой сбросных растворов и тонкой очисткой веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Запольский А.К., Образцов В.В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – Киев: Техника, 1989. – 199 с.
2. Певницкая М.В., Стариковский Л.Г., Усов В.Ю., Бородихина Л.И. Исследование работы электроионитного аппарата при глубокой деионизации воды и пути оптимизации процесса // Журнал прикладной химии. – 1981. – Т. 54. – № 9. – С. 2077–2081.
3. Певницкая М.В. Электромембранная технология деионизации вод с общим содержанием менее 300 мг/л // Теория и практика сорбционных процессов. – 1989. – № 20. – С. 135–137.
4. Перминова Л.Г., Бородихина Л.И., Певницкая М.В., Белобаба А.Г. Управление технологическим процессом глубокой деионизации воды электроионитным методом // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1985. – № 2/1. – С.135–139.
5. Решетникова А.К., Шапошник В.А., Спицина Л.П. Стационарные фронты компонентов при глубоком обессоливании воды электроионированием // Теория и практика сорбционных процессов. – 1981. – № 14. – С. 110–112.

УДК 621.731.3.322-81:621.314.21.3.042, 681.142

ТЕПЛООБМЕН В ПЛАСТИНЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ ФУРЬЕ (Fo<0,001)

В.С. Логинов

Томский политехнический университет
E-mail: loginov@ped.tpu.ru

Предложен простой аналитический приближенный способ решения задачи теплопроводности с внутренними источниками теплоты для малых чисел Фурье. Результаты расчетов по аналитической формуле сопоставлялись с численным расчетом температурного поля в обмотке индукционного малогабаритного бетатрона типа МИБ-6-200. При изменении значения тепловыделения, зависящего от времени на несколько порядков в пределах исследуемого промежутка времени имеет место хорошее согласие численного и аналитического расчетов.

В [1] рассмотрен приближенный метод решения уравнения теплопроводности в телах классической формы (пластина, цилиндр, шар) при малых числах Фурье (Fo<0,001) применительно к быстропротекающим процессам тепловой обработки материалов. В настоящей работе этот метод обобщается на случай задания в пластине распределения внутренних источников тепла от времени.

Постановка задачи. Искомое температурное поле в пластине описывается уравнением энергии:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q_V(\tau)}{\rho c_p}, \quad \tau > 0, \quad 0 < x < \delta, \qquad (1)$$

при начальных и граничных условиях:

при x=0 $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$; (2) при t = 0 $T(x,0) = T_o$; (3)

при $x = \delta - \lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \alpha(T - T_ж)$. (4)

Согласно методу, изложенному в [1], выражение для теплового потока при малых временах взаимодействия представляем в виде:

$$q = \rho c_p l \frac{\partial T}{\partial \tau}. \qquad (5)$$

Для определения линейного параметра l в формуле (5) предлагается выражение

$$l = \sqrt{a\tau}. \qquad (6)$$

Однако запись выражений (5) и (6) уже предполагает определенные знания об исследуемом процессе. При решении задачи с внутренними источниками теплоты (1–4) будем исходить из общего предположения, заключающегося в том, что определим коэффициент температуропроводности a в уравнении (1), исходя из соображений теории размерностей в виде

$$a = l_o \frac{\partial x}{\partial \tau}. \qquad (7)$$

Подставляя (7) в (1), получим

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = l_o \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right) + p(\tau), \qquad (8)$$

где $p(\tau) = q_V(\tau)/(\rho c_p)$.

Введем обозначение $u = \frac{\partial T}{\partial \tau}$, тогда уравнение (8) примет вид

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{u}{l_o} = -\frac{p(\tau)}{l_o}. \qquad (9)$$

решение ур. (9) запишется так:

$$u(x,\tau) = \frac{\partial T}{\partial \tau} = C_1 \exp\left(\frac{x}{l_o}\right) + p(\tau). \qquad (10)$$

Интегрируя полученное уравнение по τ, будем иметь:

$$T(x,\tau) = C_1 \tau \exp\left(\frac{x}{l_o}\right) + \int p(\tau) d\tau + C_2. \qquad (11)$$

Определим, используя краевые условия, значения констант в формуле (11):

$C_2 = T_o - \varphi(0)$, где $\varphi(\tau) = \int p(\tau) d\tau$.

Определим первую и вторую производные от температуры по пространственной координате:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = C_1 \frac{\tau}{l_o} \exp\left(\frac{x}{l_o}\right); \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = C_1 \frac{\tau}{l_o^2} \exp\left(\frac{x}{l_o}\right). \qquad (12)$$

Подставим производные (10), (12) в уравнение (1). В результате получим выражение для определения параметра l_o:

$$l_o = \sqrt{a\tau}. \qquad (13)$$

Как видим, выражение (13) совпадает с принятым ранее выражением (6). Константу интегрирования C_1 определим из граничного условия, после чего общее решение задачи примет вид

$$T(x,\tau) = T_o + \varphi(\tau) - \varphi(0) - \left[\frac{T_ж - T \;\; + \varphi(\tau) - \varphi(0)}{1 + \lambda/(\alpha l_o)}\right] \exp\left[-\frac{\delta}{l_o}\left(1 - \frac{x}{\delta}\right)\right].$$

Определим безразмерные параметры:

число Био – $Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda}$; число Фурье – $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$. (14)

С учетом этих параметров формула (14) переходит в зависимость

$$T(x,\tau) = T_o + \varphi(\tau) - \varphi(0) - \left[\frac{T_ж - T \;\; + \varphi(\tau) - \varphi(0)}{1 + 1/(Bi\sqrt{Fo})}\right] \exp\left[-\left(\frac{(1-X)}{\sqrt{Fo}}\right)\right].$$

Здесь $X = x/\delta$. (15)

Тогда плотность теплового потока будет равна

$$q = -\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)\Bigg|_{x=\delta} = \frac{\lambda}{\sqrt{a\tau}} \times \left[\frac{T_o - T_ж + \varphi(\tau) - \varphi(0)}{1 + 1/(Bi\sqrt{Fo})}\right] \exp\left[-\left(\frac{(1-X)}{\sqrt{Fo}}\right)\right]. \quad (16)$$

Были выполнены расчеты температурного поля в пластине по формуле (15) при задании различных законов функции внутренних источников теплоты. Результаты расчетов по аналитической формуле сопоставлялись с численным расчетом температурного поля в обмотке индукционного малогабаритного бетатрона типа МИБ-6-200. Пример такого расчета показан на рисунке. Здесь сплошными линиями представлены результаты расчета по формуле (15), а точками – численный расчет, выполненный А.Р. Дороховым по явной схеме [2]. Видно, что при изменении значения функции тепловыделения на несколько порядков в пределах исследуемого промежутка времени имеет место хорошее согласие численного и аналитического расчетов.

Аналогичный результат был получен при задании других функциональных зависимостей для внутренних источников теплоты.

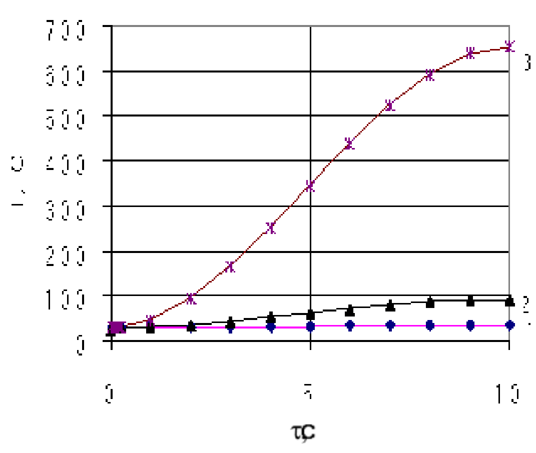


Рис. Зависимость максимальной температуры пластины от времени

$q_V = 4q_{V0}\left[\frac{\tau}{\tau_0} - \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2\right]$, $\tau_0 = 10$ с;

$q_{V0} = 4{,}05\cdot10^6;\ 4{,}05\cdot10^7;\ 4{,}05\cdot10^8$ Вт/м³;

R = 0,048 м; $C_p\rho$ = 3,47 × 10^6 Дж/(м³ K); λ = 1,56 Вт/(м K);

$Bi = 0{,}788;\ T_ж = 28{,}4$ °C; $T_0 = 31{,}2$ °C;

линии – расчет по формуле (15), точки – численный расчет по [2]

Таким образом, получена простая аналитическая зависимость для расчета температурного поля в пластине при действии в ней внутренних источников теплоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.С., Дорохов А.Р., Репкина Н.Ю. Приближенный метод расчета нестационарного температурного поля при малых числах Фурье // Письма в ЖТФ. – 1997. – Т. 23, вып. 1. – С. 22–25.
2. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.